

Mit freundlicher Empfehlung
überreicht durch:

LACH DIAMANT

UND CBN-WERKZEUGFABRIK

Donaustraße 17-19 · D-6450 Hanau 1
Telefon (06181) 10301 · Telex 4184836



Jakob Lach
GmbH & Co. KG
Gegr. 1922

Ing. (grad.) Günter Hobohm, Hanau

Polykristalliner Diamant zum Drehen, Fräsen, Bohren, Reiben, Senken und Sägen von NE-Metallen mit Erfahrungswerten

Sonderdruck aus:

Werkstatt und Betrieb

Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung

Herausgegeben
von Prof. Dr.-Ing.
Herbert Schulz

Carl Hanser
Verlag
München

1+2/86

ISSN 0043-2792



LEBENSVERSICHERUNG

AG

Lebensversicherung
für den Mann und
für die Frau
in der Familie

LEBENS-
VERSICHERUNG



Ing. (grad.) Günter Hobohm, Hanau

Polykristalliner Diamant zum Drehen, Fräsen, Bohren, Reiben, Senken und Sägen von NE-Metallen

Werkzeuge mit polykristallinen Diamantschneiden sind in vielen Fällen eine wirtschaftliche Alternative zu herkömmlichen Werkzeugen mit Hartmetall-Schneiden oder solchen aus Schnellarbeitsstahl. Voraussetzung dabei ist, daß geeignete Werkstücke aus entsprechenden Werkstoffen vorliegen, letztere sind vor allem Leichtmetall-Legierungen sowie Kupfer- und Kupfer-Legierungen, Kunststoffe (insbesondere mit Faserverstärkung aus Glas oder Kohle), Hartgummi, aber auch oxidische Werkstoffe (Aluminiumoxid), Silizium, Wolfram mit Kobaltanteilen oder Hartmetalle mit Kobaltanteilen. Die zu beachtenden maschinen-, werkzeug- und werkstoffseitigen Voraussetzungen werden hier beschrieben. In einem nachfolgenden Beitrag sollen insbesondere Erfahrungsbeispiele anhand bearbeiteter Werkstücke aus den verschiedenen Industriezweigen und für die unterschiedlichen Werkstoffe gegeben werden.

1 Einsatz mono- und polykristalliner Diamanten

Diamant ist durch seine hohe Härte als Schneidstoff für die spangebende Bearbeitung von Nichteisen-Metallen geeignet. Monokristalline Natur-Diamantschneiden werden seit Jahrzehnten hierfür genutzt, hauptsächlich zum Glanzdrehen bei relativ kleinen Spantiefen und ausschließlich ohne unterbrochenen Schnitt. Wegen der durch den kristallinen Aufbau bedingten Ungleichmäßigkeit schwankt ihr Verschleißwiderstand sehr. Die sehr scharfen und schartenfreien Schneiden des monokristallinen Diamanten ermöglichen aber kleinste Rautiefen und hohen Glanz am Werkstück.

Seit über zehn Jahren stehen synthetische polykristalline Diamantschneiden zum Bearbeiten von NE-Metallen mit sehr guten Zerspaneigenschaften zur Verfügung. Durch die regellose Orientierung kleiner und kleinster Diamantkristalle in der Schneide fehlen Vorzugsrichtungen wie beim Naturdiamant. Beim Herstellen wird eine Diamantschicht mit einer Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese mit einer Hartmetall-Unterlage in einem Sintervorgang verbunden. Die Diamantkristalle wachsen dabei ohne Bindemittel an den Korngrenzen aneinander. Diese Blöcke (Diamant- und Hartmetall) sind kaum anfällig gegen stoßartige Belastungen und können ohne Einschränkung auch für den unterbrochenen Schnitt eingesetzt werden.

Bedingt durch den mehrkristallinen Aufbau der Diamanten sind die Schneidkanten allerdings schartiger als beim monokristallinen Aufbau der Naturdiamanten. Diese Schartheit muß beim Schleifen der Schneiden in Grenzen gehalten werden. Heute stehen dem Werkzeug-Hersteller und dem -Anwender Diamantplatten (Bild 1) in vielen Größen und drei Kornstrukturen zur Auswahl, so daß für den individuellen Einsatzfall gezielt Werkzeuge hergestellt werden können.

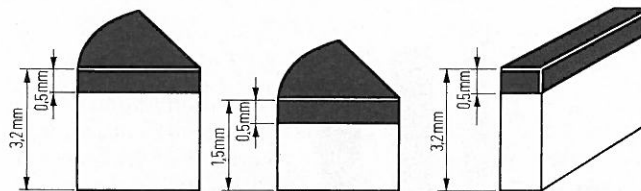


Bild 1. Formen polykristalliner Diamantschneiden (Auswahl)

2 Eignung

In allen Branchen werden heute polykristalline Diamantschneiden für die spangebende Bearbeitung eingesetzt. Hierbei ist die Automobilindustrie aufgrund der vielen Leichtmetall-Werkstücke führend. Viele Werkstücke des Fahrzeugbaus aus hochlegiertem, schwer zerspanbarem Aluminium (oft übereutektisch mit sehr hohem Silizium-Anteil bis 18%) werden seit Jahren bearbeitet. Dabei liegt die Standzeit der polykristallinen Diamantschneiden gegenüber der früheren Bearbeitung mit Hartmetall vielfach höher. Typische Werkstücke sind hierfür u.a. Gehäuse für Getriebe, Vorderachsen, Ölpumpen, Kurbelwellen, Nockenwellen, Vergaser, Lager und Wasserpumpen, aber auch Zylinderköpfe, Klappenstutzen, Ansaugkrümmer, Lagerschilde, Bremszylinder, Kolben, Kühlerdeckel, Flügelräder, Getriebedeckel, Pleuel, Saugrohre und Brems scheiben. Eine Auswahl hierfür typischer Aluminium-Werkstücke ist in Bild 2 wiedergegeben. Bearbeitungsbeispiele anderer Branchen sind zu drehende Kollektoren aus Elektrolytkupfer, das Drehen von Grafitelektroden, von Tiefdruckwalzen der Druckindustrie, von vorgesintertem Hartmetall, das Drehen und Fräsen ungebrannter Keramik und von glasfaserverstärkten (GFK) und kohlefaserverstärkten (CFK) Kunststoffen sowie das Überdrehen anstelle von Schleifen auftragsgeschweißter Metallpulver.

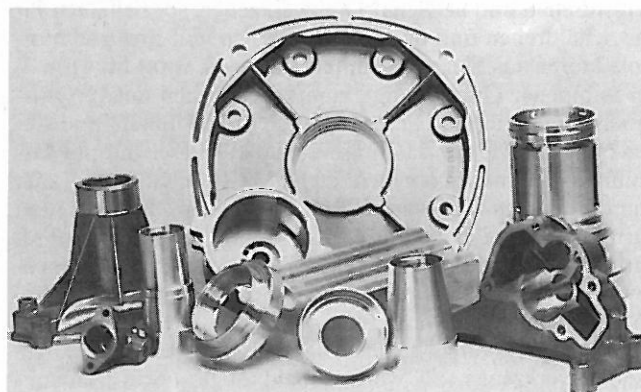


Bild 2. Typische, mit polykristallinen Diamantschneiden bearbeitete Werkstücke des Fahrzeugbaus und anderer Branchen

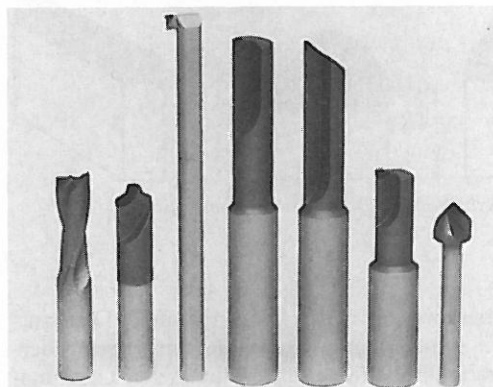
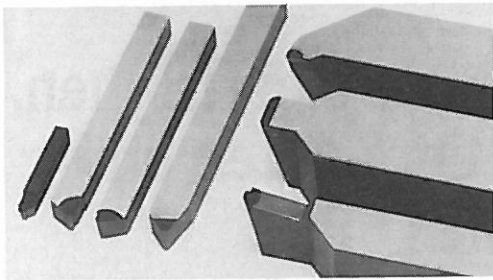


Bild 3. Auswahl typischer Außen-, Einstech- und Profildrehwerkzeuge (oben) sowie Senker, Ausspindel-Werkzeuge und Schaftfräser (unten)

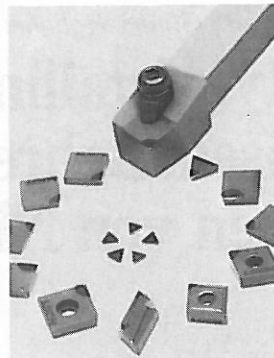


Bild 4. Typische Dreh- und Frässhchneidplatten

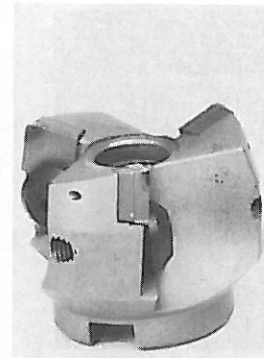


Bild 5. Messerkopf zum Plan- und Eckfräsen

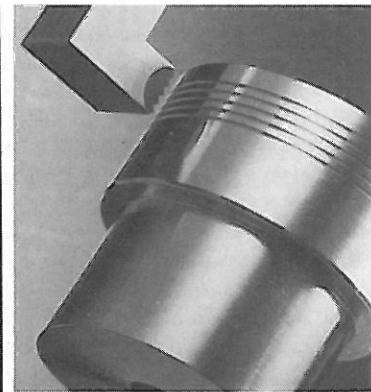
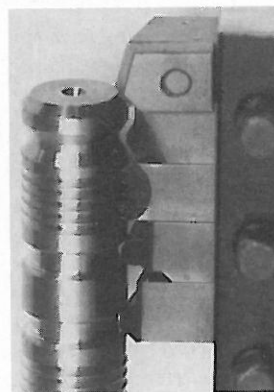


Bild 6. Profil-Drehmeißel mit polykristallinen Diamantschneiden

3 Verfügbare Werkzeuge

Polykristalline Schneidplatten werden etwa in 0,5 mm Diamantdicke mit rechteckiger oder runder Grundfläche oder mit Kreissegmentfläche hergestellt. Die Gesamtdicke einschließlich der Diamantschicht liegt zwischen 1,5 und 3,2 mm. Die rechteckigen Schneiden haben Kantenlängen von 2,5 bis 11,5 mm, die runden von 3,8 bis 13,2 mm bei runder, halbkreis- oder segmentförmiger Grundfläche (45, 60, 90, 180 oder 360°). Daneben stehen Rohlinge bis 34 oder 50 mm Dmr. zur Verfügung, aus denen durch Trennen in Stäbchen oder Rechteckwerkzeuge für besonders große Spantiefen oder Profildrehwerkzeuge hergestellt werden.

Es stehen Drehmeißel zum Außendrehen mit geraden und profilierten Schneiden in gerader oder gekröpfter Meißelform zur Verfügung (Bild 3 oben) sowie Senker, Ausspindel-Werkzeuge und Schaftfräser (Bild 3 unten), gleichermaßen zum Feinstdrehen und als Schäl-Drehwerkzeuge, speziell auch für das Schäl-drehen und das übliche Drehen von Elektromotor-Kollektoren aus Elektrolytkupfer (Rauhtiefe von 1 bis 4 μm R , bei minimaler Gratbildung), zum Innendrehen mit verschiedenen Haltern und als Schneidplatten für das Innen- und Außendrehen sowie für das Fräsen (Bild 4). Fräser mit polykristallinen Diamantschneiden stehen als Schaftfräser zum grund- und umfangsschneidenden Flächen-, Kanten- und Stirnfräsen, zum Nutenfräsen und Schlitzfräsen, als grund- und umfangsschneidende Schaft-Winkelfräser, als Langloch- bzw. Bohrnutenfräser sowie zum Plan- und Eckfräsen als Messerköpfe (Bild 5) zur Verfügung.

Waren es anfangs gerade Diamantschneiden für spangebende Werkzeuge, so wurden bald auch Form-Diamantschneiden erstellt. Eine entsprechende Bearbeitungsmethode ermöglicht es heute, jedes gewünschte Profil zu fertigen. Da-

mit fanden polykristalline Diamantschneiden weitere Anwendungen. Typische Beispiele solcher Formdrehmeißel zeigt Bild 6.

4 Kornstruktur

Polykristalline Diamantschneidplatten stehen heute in drei unterschiedlich feinen Kornstrukturen zur Verfügung (Bild 7). Die relativ gröbste reicht von 0 bis etwa 32 μm und enthält feine bis mittlere Diamantkörner. Das Anwendungsgebiet für diese Platten ist die spanende Bearbeitung von Aluminium-Legierungen mit hohem Siliziumgehalt (Bild 8) und anderer Nichteisen-Metalle. Die nächst feinere Struktur hat eine Korngröße von 0 bis etwa 15 μm . Damit ist der Streubereich dieser Platten kleiner als der zuvor beschriebene. Als feinste Kornstruktur gelten heute etwa 4 bis 8 μm , also Diamantplatten mit sehr feiner, einheitlicher Kornstruktur. Diese Platten gestatten, sehr scharfe, fast schartenfreie Schneidkanten herzustellen. So geschliffene Diamantschneiden eignen sich besonders für Arbeitsgänge, bei denen hohe Oberflächengüten und lange Standzeiten erforderlich sind.

Werden keine besonderen Anforderungen an die Oberflächengüte gestellt, und werden Werkstücke aus Aluminium-Legierungen mit mehr als 10% Siliziumgehalt bearbeitet, werden in der Regel Diamantplatten feiner bis mittlerer oder feiner bis mittelfeiner Kornstruktur eingesetzt. Diamantplatten mit sehr feiner Kornstruktur sind ausschließlich bei besonderen Oberflächenanforderungen (kleinste Rauhtiefenwerte) erforderlich und sinnvoll. Auf keinen Fall dürfen sie für die spangebende Bearbeitung von Aluminium-Legierungen mit einem Silizium-Anteil über 10% angewendet werden, da die großen Silizium-Anteile die Schneidkanten der feinkörnigen Diamantplatten zerstören würden.

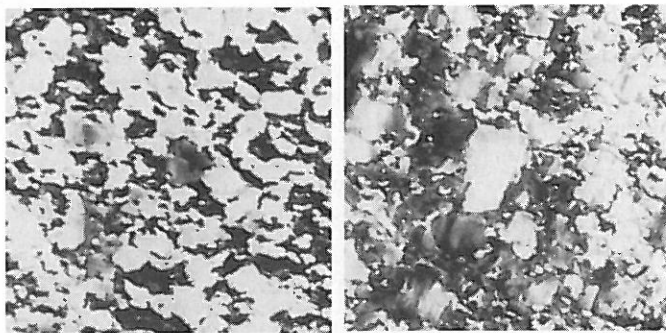


Bild 7. Unterschiedliche Kornstruktur polykristalliner Diamantplatten (links sehr fein, Korngröße 4 bis 8 μm , Mitte fein bis mittelfein, 0 bis 15 μm , rechts fein bis mittel, 0 bis 32 μm)

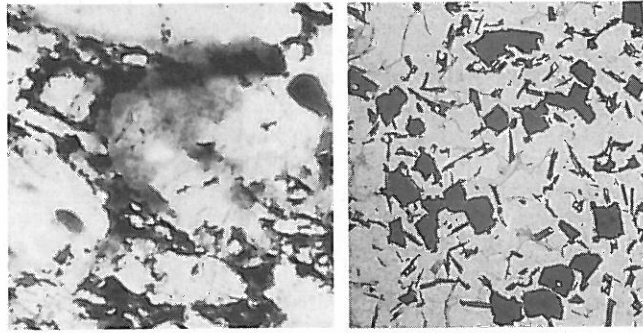


Bild 8. Vergrößertes Drehbild einer Aluminium-Legierung mit hohem Siliziumgehalt

Grundsätzlich haben feinkörnige Schneidplatten aus polykristallinem Diamant gegenüber grobkörnigeren folgende Vorteile: längere Werkzeug-Standzeit (etwa 30- bis 100fach) durch größere Abriebfestigkeit der Schneide, engere Toleranzen sind an der Werkzeugschneide einzuhalten, niedrigere Bearbeitungskosten durch kürzere Zeiten zum Schleifen der Schneiden, höhere Oberflächengüte der bearbeiteten Werkstücke, bessere Möglichkeit zum Polieren der Spanfläche der Schneiden, in vielen Fällen Eignung der polykristallinen Schneide anstelle der monokristallinen Naturdiamant-Schneide, geringere Werkzeug-Bruchgefahr gegenüber Schneiden aus monokristallinem Naturdiamant.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Kornstruktur zeigen sich direkt in den Arbeitsergebnissen entsprechender Schneidplatten. So wurden z. B. Werkstücke aus Knetaluminium bei einer Schnittgeschwindigkeit v 1220 m/min, einem Vorschub s 0,127 mm je Umdrehung und einer Schnitttiefe a 1,3 mm mit Schneidplatten mit einem Kantenradius von 0,8 mm gedreht. Mit Platten feiner bis mittlerer Kornstruktur (0 bis etwa 32 μm) wurde ein arithmetischer Mittenrauhwert R_a 1,4 μm am Werkstück erreicht, mit Platten sehr feiner Kornstruktur (4 bis etwa 8 μm) R_a 0,8 μm . Der gleiche Werkstoff wurde dann bei 300 m/min Schnittgeschwindigkeit, ebenfalls 0,127 mm pro Umdrehung Vorschub und bei 2,5 mm Schnitttiefe mit den gleichen polykristallinen Diamantplatten gedreht, jedoch im unterbrochenen Schnitt. Dabei wurde mit Platten feiner bis mittlerer Kornstruktur ein arithmetischer Mittenrauhwert R_a 1,0 μm erzielt, mit Platten sehr feiner Kornstruktur 0,7 μm , also geringfügig bessere Werte als bei kontinuierlichen Schnittbedingungen. Beim Drehen von Leichtmetall-Kolben mit 9% Siliziumanteil ergab sich bei polykristallinen Diamantplatten der feinsten Kornstruktur eine doppelt so hohe Standzeit wie bei solchen einer mittleren Kornstruktur. Beim Drehen von Pumpengehäusen aus Leichtmetall aus 8% Silizium-Anteil ergab sich eine etwa um 50% längere Standzeit.

Die erreichbare Oberflächengüte läßt sich nicht generell bzw. in absoluten Zahlenwerten vorherbestimmen. Die in der Praxis erreichbaren Werte der arithmetischen Mittenrauheit R_a liegen etwa bei 0,3 bis 0,4 μm . Günstigere Werte lassen sich (soweit technisch überhaupt erforderlich) unter optimalen Werkzeug- und Maschinenbedingungen unter Umständen erreichen. Beeinflußt wird die Oberflächengüte von der Kornstruktur der Diamantschneiden, von der zum Schleifen der Platten benutzten Diamantscheibe bzw. der erzielten Schartigkeit der Schneide, ob eine polierte oder eine nicht polierte Spanfläche gewählt wird, von der Schneidengeometrie (Freiwinkel, Spanwinkel, Radien u. dgl.), den Maschinenparametern

(Umdrehungsfrequenz, Vorschub, Spantiefe), der Art und Beschaffenheit der Maschine, der Art des Bearbeitungsvorgangs (Drehen, Fräsen, Bohren u. dgl.), der Werkstoffart des zu bearbeitenden Werkstücks, der Kühlung und der Art des Kühlmittels. Die Vielzahl der Parameter macht eine konkrete Vorhersage der erreichbaren Oberflächengüte praktisch unmöglich.

5 Einsatz- und Betriebshinweise

5.1 Maschinelle Voraussetzungen

Alle für den Einsatz von Hartmetall-Werkzeugen genutzten Maschinen sind auch für den Einsatz polykristalliner Diamantwerkzeuge einzusetzen. Voraussetzung sind eine einwandfreie, schwingungsfreie Spindellagerung, eine stabile Werkstück-Einspannung und Kraftübertragung. Hohe Umdrehungsfrequenzen bzw. Schnittgeschwindigkeiten sind anzustreben. Entscheidend ist aber, daß im schwingungsfreien Bereich der Umdrehungsfrequenzen gearbeitet wird. Viele Werkzeugmaschinen wurden in den letzten Jahren verbessert oder speziell für das Arbeiten mit Diamantschneiden konzipiert. Diese Maschinen besitzen eine hohe Steifigkeit und ermöglichen meist hohe Schnittgeschwindigkeiten.

5.2 Einrichten der Diamantschneiden

Die polykristalline Diamantschneide sollte geringfügig über der Werkstückmitte (Toleranz 1 bis 2%) eingestellt werden. Sie darf beim Einrichten auf keinen Fall mit dem stehenden Werkstück in Berührung kommen. Deshalb dürfen sie nur bei laufendem Werkstück in bzw. außer Eingriff gebracht werden. Eine optische Schneideneinstellung ist zu empfehlen.

5.3 Spantiefe

Grundsätzlich können bei Diamantschneiden (soweit technisch notwendig und von den aufnehmbaren bzw. von der Maschine aufbringbaren Vorschubkräften her möglich) die gesamte Schneidenlänge in Eingriff gebracht werden. In der Regel wird man Spantiefen von wenigen zehntel Millimetern wählen. Allerdings sind beim Drehen und Fräsen Spantiefen bis zu 8 mm und mehr bekannt.

5.4 Vorschub

In Tabelle 1 sind Richtwerte für den Vorschub für die üblichen, mit polykristallinen Diamanten bearbeitbaren Werkstoffe (sowie die Schnittgeschwindigkeit) gegeben. Die günstigsten Werte ergeben sich in Abhängigkeit von der ange-

Tabelle 1. Empfohlene Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe für Nichteisen-Metalle und verschleißintensive Werkstoffe zum Drehen mit polykristallinen Diamantschneiden (Schnitttiefe a analog bis zur gesamten Länge der Diamantschneide möglich)

bearbeitbare Werkstoffe	Schnittgeschwindigkeit v m/min	Vorschub s mm je Umdr.
<i>NE-Metalle</i> Aluminium ohne Silizium	200 bis 2000	0,05 bis 0,4
Aluminium-Legierung mit geringen Siliziumanteil (< 8%)	200 bis 2000	0,05 bis 0,4
Aluminium-Legierung bis zu 12% Silizium	150 bis 1000	0,05 bis 0,4
Aluminium-Legierung bis zu 18% Silizium	100 bis 800	0,05 bis 0,4
Messing-, Magnesium- und Zinklegierungen	200 bis 2000	0,05 bis 0,4
Kupfer-, Bronze- und Bleilegierungen	200 bis 1000	0,05 bis 0,4
<i>werkzeugverschleißintensive Werkstoffe</i> Duro- und Thermoplaste ohne und mit Füllstoffen (z. B. GFK, CFK) und Epoxidharze	100 bis 1000	0,05 bis 0,2
Hartpapier	200 bis 600	0,1 bis 0,3
Hart- und Weichgummi	100 bis 500	0,1 bis 0,6
Grafit	100 bis 500	0,1 bis 0,4
vorgesintertes Hartmetall	100 bis 500	0,1 bis 0,4
Aluminiumoxid	50 bis 180	bis 0,1
Silizium	50 bis 180	bis 0,1
Wolfram	50 bis 180	bis 0,1
Hartmetall (> 6,0% Co)	30 bis 70	0,1 bis 0,6

strebten Oberflächengüte. Grundsätzlich gilt, daß kleinere Vorschübe bessere Oberflächengüten erbringen.

5.5 Aufbauschneiden

Aufbauschneiden sind beim spangebenden Bearbeiten unerwünscht. Sie sollten möglichst vermieden oder so lange wie möglich verzögert werden. Aufbauschneiden werden auf einen Diffusionsvorgang zwischen Schneidstoff und Werkstoff bei hohen Schneidtemperaturen zurückgeführt, die beim Abstumpfen der Schneidkanten auftreten. Nachdem sich Aufbauschneiden gebildet haben, steigen die Schnittkräfte sprunghaft an, so daß aus den Schneiden Stücke herausgerissen werden bzw. herausbröckeln und das Werkzeug dadurch reparaturbedürftig wird.

Beim Anwenden polykristalliner Diamantschneiden sind beim Bearbeiten von den in Tabelle 1 aufgeführten Werkstoffen Aufbauschneiden kaum zu beobachten, vorausgesetzt, die Schneiden waren wenig schartig und die Spanfläche ist poliert. Durch die scharfen Schneidkanten bleiben die Bearbeitungstemperaturen und Schnittkräfte innerhalb der Grenzen, in denen eine Aufbauschneidenbildung lange verzögert wird.

5.6 Kühlmittel

Diamantwerkzeuge können trocken oder naß eingesetzt werden. Kühlmittel verbessert jedoch die Werkzeug-Standzeiten und die Oberflächengüten an den Werkstücken, verhindert

Aufbauschneiden und vermindert die Reibung an Span- und Freiflächen, führt entstandene Wärme ab und hilft Späne zu beseitigen. Als Schmierstoff wird Bohrl-Emulsion angewendet. Wenn an der Maschine keine Kühlmöglichkeit gegeben ist, sollte zumindest Druckluft angewandt werden. Bei Aluminium-Legierungen mit hohen Silizium-Anteilen sollte auf jeden Fall gekühlt werden. Erfahrungen über besonders geeignete Kühlmittel liegen z. Z. nicht vor.

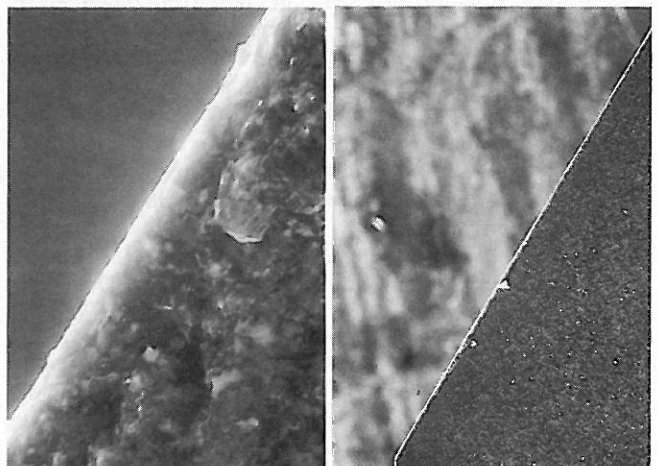
6 Schleifen, Nachschleifen

Polykristalline Diamantschneiden müssen mit speziellen, hochkonzentrierten Diamantscheiben geschliffen werden. Das für Hartmetall-Schneiden übliche Pendelschleifen mit fester Zustellung im Doppelhub kann bei Diamantschneiden nicht angewendet werden. Geschliffen wird bei bestimmten Anpreßdrücken. Erst nachdem sich der Anpreßdruck abgebaut hat, wird erneut um 1000stel Millimeter zugestellt. Hierzu gibt es verschiedene Schleifmaschinen; weitere Schleiftechniken sind in der Entwicklung bzw. Erprobung. Diese werden die jetzt noch notwendigen hohen Schleifzeiten erheblich senken.

Derzeit wird nach drei unterschiedlichen Schliffgüten für polykristalline Diamantschneiden unterschieden. Bei geringen Anforderungen an die Schneidenschartigkeit wird mit einer relativ groben Diamantscheibe eine Schneide mit einer Schartigkeit von etwa 10 bis 15 μm erzielt. Bessere Ergebnisse bzw. eine Schartigkeit von 4 bis 8 μm wird mit feinkörnigen Diamantscheiben erreicht. Hierzu wird zumeist mit der gröberen Diamantscheibe vorgeschliffen und dann mit der feineren nachgeschliffen. Für höchste Ansprüche an die Oberflächen-güte der zu bearbeitenden Werkstücke müssen mit Diamantscheiben geläppte Schneidplatten eingesetzt werden. Hier liegt die Schartigkeit bei 3 bis 6 μm .

Soll die Spanfläche der Diamantschneiden weiter verbessert bzw. die Schartigkeit der Schneide noch weiter vermindert werden, werden die Spanfläche der Diamantschneiden poliert. Dadurch ergibt sich auch ein optimaler Späneabfluß und es werden Aufbauschneiden so lange wie möglich verhindert. Damit werden an der Spanfläche Oberflächen mit einem arithmetischen Mittenrauhwert R_a 0,01 bis 0,02 μm erzielt.

Mit üblichen Schleifmaschinen bzw. Diamant-Schleifscheiben lassen sich derartige Forderungen an die Schleifqualität nicht erfüllen. Diese werden deshalb vom Hersteller in der gewünschten Ausführung bereitgestellt. Großanwender,



*Bild 9. (rechts) Aufnahme mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop der geschliffenen Planfläche einer Diamant-Frässchneidplatte, Vergrößerung 93fach
Bild 9. (links) dito jedoch 5060fach*

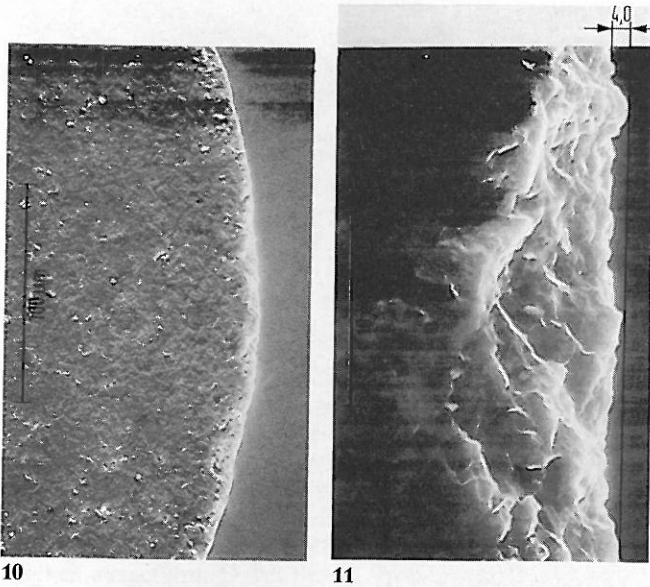


Bild 10. Aufnahme mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop einer Kreisbogen-Schneide (Vergrößerung etwa 1: 511)

Bild 11. Aufnahme mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop einer Kreisbogen-Schneide (Vergrößerung etwa 1: 5060)

z. B. die Automobilfabriken, könnten ggf. entsprechende Anschliffe selbst herstellen.

Der Zeitaufwand zum Schleifen polykristalliner Diamantschneiden sei im Vergleich zum Schleifen von Hartmetall-

Schneiden deutlich gemacht: Wird beim Schleifen von Hartmetall-Schneiden ein Zeit-Span-Volumen von $3,0 \text{ cm}^3/\text{min}$ erzielt, ist beim Schleifen von polykristallinen Diamantschneiden nur ein solches von $0,02 \text{ cm}^3/\text{min}$ möglich. Hartmetall läßt sich also rd. 150mal rascher durch Schleifen zerspanen als polykristalliner Diamant vergleichbarer Schneidenlänge.

Die Scharfkantigkeit der so geschliffenen Schneiden wird aus den Aufnahmen mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop in Bild 9 ersichtlich. Von einer Schneidplatte zum Fräsen mit feiner bis mittelfeiner Diamantkörnung ist rechts die Planfase bei etwa 93facher Vergrößerung zu sehen (Planparallelität $5 \mu\text{m}$). Links bei etwa 5060facher Vergrößerung. Bei diesen Schneiden wurden eine Schartigkeit von $0,4 \mu\text{m}$ und eine Planparallelität von $5 \mu\text{m}$, jeweils an der Planfase, gemessen.

Die Vergrößerung (rd. 511fach) der Radiusseide mit einer feinen bis mittelfeinen Diamant-Körnung ist in Bild 10 zu sehen. Die etwa 5060fache Vergrößerung dieser Kreisbogen-seide zeigt Bild 11. Hier wurde eine Schartigkeit von $0,8 \mu\text{m}$ gemessen.

Erfahrungswerte

Nachdem seit Jahrzehnten üblichen Einsatz von Natur-Diamantwerkzeugen zum spanenden Bearbeiten von NE-Werkstoffen haben sich nun seit Jahren synthetische, polykristalline Diamantwerkzeuge auf breiter Basis eingeführt. Sie sind durch ihre gleichmäßige Struktur und ihre industrielle Herstellung in verschiedenen geometrischen Formen und Größen gut für einen Fertigungseinsatz unter reproduzierbaren Bedingungen geeignet. Nachdem in einem vorangegangenen Beitrag [1] auf die allgemeine Eignung und die Voraussetzungen für ihren Einsatz eingegangen wurde, werden nachstehend Einsatzerfahrungen anhand gedrehter und gefräster Leichtmetall-, Kupferwerkstücke und solche aus anderen Werkstoffen gegeben.

1 Drehen von Aluminium-Felgen

Die Felgen für Personenkraftwagen aus Aluminium mit rd. 415 mm Dmr. in Bild 1 wurden auf einem numerisch gesteuerten Drehautomaten gedreht. Hierfür wurden polykristalline Diamantschneidplatten mit Platten VBMA 160810 (6 mm Diamantlänge) eingesetzt. Vorgedreht wurde bei 0,4 mm, fertiggedreht bei 0,08 mm Spantiefe; der Vorschub betrug 0,2 mm je Umdrehung. Die Schnittgeschwindigkeit am äußeren Felgen-Durchmesser betrug 2600 m/min (n 2000 min^{-1}). Trotz des unterbrochenen Schnitts in der Felgenschüssel wurde ein anspruchsvoller Spiegelglanz an der Oberfläche erzielt.

2 Bearbeiten von Aluminium-Silizium-Legierungen

Der Kopf eines Sechs-Zylinder-Motors eines Personenkraftwagens (BMW) in Bild 2 besteht aus GD-Al Si 6 Cu 4, einer Druckguß-Legierung mit 220 bis 300 N/mm² Zugfestigkeit und 70 bis 100 HB 5/250 Brinellhärte. Sie wurden in vier verschiedenen Arbeitsgängen mit polykristallinen Diamantwerk-

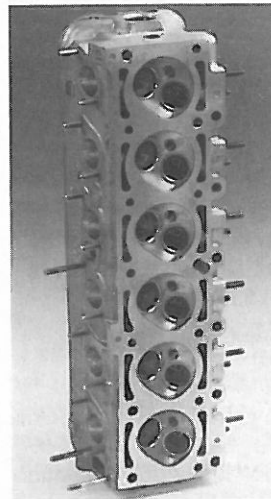


Bild 2. Zylinderkopf aus GD-AlSi6 Cu 4

zeugen gedreht und gefräst. Zum Schrappfräsen der Brennraumseite und Deckelseite wurde ein Planmesserkopf mit 200 mm Dmr. und acht polykristallinen Diamant-Planfräschneidplatten eingesetzt. Die Schnittgeschwindigkeit betrug 785 m/min (n 1250 min^{-1}), der Vorschub 0,9 mm je Umdrehung bzw. 1440 mm/min die Vorschubgeschwindigkeit (Zahnvorschub f_z 0,18 mm). Als Schnitttiefe wurde a 2 bis 3 mm zugestellt. Zum Schlichtfräsen der Brennraum- und der Deckelseite wurde ebenfalls ein Planmesserkopf 200 mm Dmr. mit acht Diamant-Schneidplatten eingesetzt. Hierbei betrugen die Schnittgeschwindigkeiten 911 m/min (n 1450 min^{-1}) und der Vorschub 1,0 mm je Umdrehung bzw. die Vorschubgeschwindigkeit 1450 mm/min (f_z 0,12 mm). Die Schnitttiefe wurde zu 0,5 mm gewählt.

Die Einlaßseite wurde mit einem Planmesserkopf 160 mm Dmr. und sechs Diamant-Schneidplatten schrappgefräst. Hierbei betrugen die Schnittgeschwindigkeit 804 m/min (n



Bild 1. PKW-Felge aus Aluminium

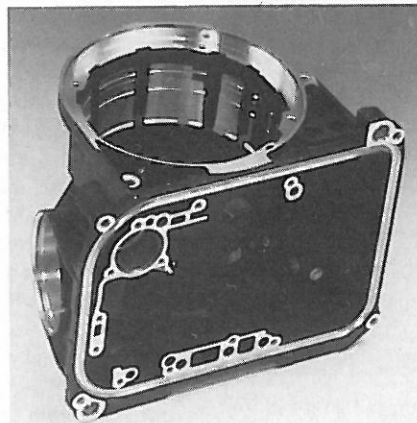


Bild 3. Getriebegehäuse aus GD-AlSi 12 Cu

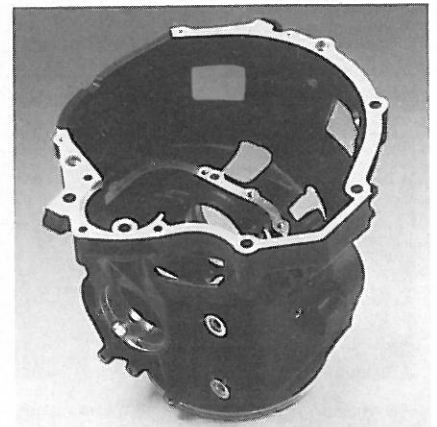


Bild 4. Vorderachsgehäuse aus GD-AlSi 12 Cu

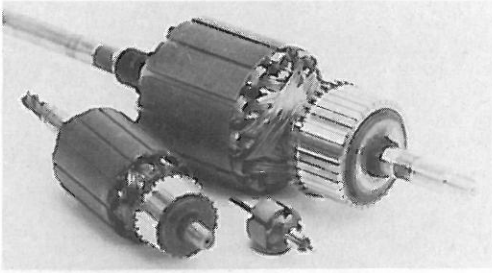


Bild 5. Elektromotor-Kollektoren aus Elektrolytkupfer

1600 min^{-1}) und der Vorschub 0,9 mm je Umdrehung bzw. 1440 mm/min, die Vorschubgeschwindigkeit (f_z 0,15 mm). Als Schnitttiefe wurden 2 bis 3 mm gewählt. Die Nockenwellen-Bohrungen wurden mit Drehmeißeln mit polykristallinen Diamantschneiden ausgedreht. Dies wurde bei 300 bis 400 m/min Schnittgeschwindigkeit (n 2500 min^{-1}) und 0,06 mm je Umdrehung Vorschub bzw. 150 mm/min Vorschubgeschwindigkeit ausgeführt. Dabei betrug die Schnitttiefe 0,5 mm. Als fünfter Arbeitsgang wurden die Sitzflächen der Ventile ausgedreht. Hierzu wurden Drehmeißel mit polykristallinem Bornitrid (CBN) eingesetzt bei 55 bis 70 m/min Schnittgeschwindigkeit (n 560 min^{-1}) und 0,09 mm je Umdrehung Vorschub bzw. 50 mm/min Vorschubgeschwindigkeit. Die Schnitttiefe schwankte hierbei zwischen 0,2 und 0,3 mm. Bornitrid wurde gewählt, weil die Ventil-Sitzflächen aus legiertem Stahl bestehen. Stahl kann bekanntlich nicht mit Diamant bearbeitet werden.

Die Getriebegehäuse für Personenkraftwagen (VW) in Bild 3 bestehen aus Druckguß GD-AlSi 12 Cu. Diese Legierung hat eine Zugfestigkeit von R_m 220 bis 300 N/mm² und 60 bis 80 HB 5/250 Brinellhärte. Mit polykristallinen Diamantwerkzeugen waren die Pumpenfläche zu drehen (zwei Drehmeißel), die Pumpenzentrierung zu drehen (zwei Drehmeißel), die Bremsfläche zu drehen (zwei Drehmeißel), die Kolbenbohrung zu drehen (drei Drehmeißel), die Flächen der Ölwanne und der Kanalplatte zu fräsen (Planmesserkopf mit vier Diamantschneidplatten), die Kolbenbohrung zu drehen (zwei Drehmeißel) sowie die Führungsbohrung für die Kolben zu reiben (Reibahle mit polykristallinem Diamant-Einsatz). Bei sämtlichen Arbeitsgängen wurde eine Oberflächengüte erreicht, bei der die Rauhtiefe R_t unter 6 μm lag und damit günstiger als die vorgeschriebene Toleranz. Durch die eingesetzten Reibahlen mit polykristallinen Diamantschneiden wurden die seither angewandten Reibahlen mit auswechselbaren Hartmetalleinsätzen substituiert. Letztere konnten durchschnittlich 1200 Werkstücke reiben, die Reibahle mit gelöteten polykristallinen Diamantschneiden mehr als 70 000 Werkstücke (Bohrung 31 mm Dmr. H6, rd. 120 mm lang). Beim Reiben betrug die Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, der Vorschub 0,1 mm je Umdrehung bei 0,25 mm Spantiefe. Die geriebene Oberfläche hatte eine Rauhtiefe R_t von 2 bis 3 μm , gefordert waren 10 μm .

Auch das Vorderachsgehäuse eines Personenkraftwagens (VW) in Bild 4 besteht aus GD-AlSi 12 Cu. Es wird mit polykristallinen Diamantwerkzeugen gedreht, gefräst und gerieben. An allen so bearbeiteten Oberflächen lag die Rauhtiefe R_t unter 6 μm und war damit günstiger als gefordert. Die Reglerbohrung wurde mit vier Drehmeißeln gedreht und anschließend mit einer Reibahle mit vier polykristallinen Diamant-Einsätzen gerieben. Der Motorflansch wurde mit zwei Drehmeißeln gedreht, die Triebblings-Bohrung mit einem Drehmeißel gedreht. Ein Drehmeißel mit polykristallinen Diamantplatten wurde für die Triebblings-Deckelfläche be-

nutzt, zwei Plandrehwerkzeuge für das Drehen der Getriebegehäuse-Fläche, ebenfalls zwei Drehmeißel zum Ausdrehen der Achsabtriebs-Bohrung. In die Achs-Abtriebs-Bohrung wurde mit einem polykristallinen Gewindedrehmeißel anstelle eines hartmetallbestückten ein Gewinde M 92 $\times$ 1,5 geschnitten. Mit einem Plandrehmeißel wurde der Anschlußflansch des Getriebegehäuses im Durchmesser gedreht. Konnten früher maximal 1000 Werkstücke auf diese Art mit Gewinde versehen werden, werden jetzt mindestens 50 000 Gewinde mit einem Werkzeug geschnitten.

3 Drehen von Elektrolyt-Kupfer

Kollektoren von Elektromotoren wie in Bild 5 sind ein häufiges Einsatzgebiet für Drehmeißel mit Schneidplatten aus polykristallinem Diamant. So waren beispielsweise Luftschlitz-Kollektoren mit 18, 25 und 28 mm Dmr. zu drehen. Mit Drehmeißeln mit spezieller Schneidengeometrie aus polykristallinem Diamant wurden durchschnittlich 55 000 Kollektoren mit jeweils einer Schneide gedreht. Dabei wurden Werte für die gemittelte Zehn-Punkte-Höhe R_z zwischen 3 und 4 μm erreicht (gefordert waren 3 bis 7 μm). Der geforderte Sprung von Lamelle zu Lamelle betrug 1 μm , erreicht wurde ein Wert etwas darunterliegend.

Andere Luftschlitz-Kollektoren wurden mit schräggestellter polykristalliner Diamantschneide geschält bei 600 m/min Schnittgeschwindigkeit und 0,04 bis 0,06 mm je Umdrehung Vorschub. Beim Vordrehen und beim Fertigdrehen betrug die Spantiefe jeweils 0,05 mm. Durch das Schräggstellen der Diamantschneide konnten die Kollektoren völlig gratfrei gedreht werden; die Oberflächengüte R_z betrug 0,64 μm . Auf diese Weise konnten durchschnittlich 60 000 Kollektoren mit einer Schneide gedreht werden. Das vorher beim Drehen mit Hartmetallschneiden notwendige Nacharbeiten durch Bürsten konnte entfallen.

4 Plandrehen von Werkstücken aus Epoxidharz mit hohem Glasfaseranteil

Werkstücke aus Kunststoff sind im raschen Vordringen begriffen. Dies gilt insbesondere für Werkstücke im Fahrzeugbau, im Flugzeugbau, aber auch z. B. in der Elektronik- und Elektroindustrie. So zeigt Bild 6 als Beispiel das Planfräsen mit einem entsprechenden Fräser mit Schneidplatten aus polykristallinem Diamant. Ähnliche Werkstücke aus glasfaserverstärktem Epoxidharz waren an der Stirnfläche (außen 300, innen 200 mm Dmr.) planzudrehen. An der Planfläche befanden sich zwölf Bohrungen mit je 15 mm Dmr., so daß der Schnitt erheblich unterbrochen wurde. Im ersten Versuch wurde bei 174 bis 260 m/min Schnittgeschwindigkeit (n 262 min^{-1}) und 0,5 mm Vorschub je Umdrehung sowie 3,5 mm Spantiefe gearbeitet. Dabei wurde an der Diamantschneide eine Temperatur von 75 °C gemessen. Beim zweiten Versuch wurde bei gleicher Schnitttiefe und gleichem Vorschub, aber 290 bis 435 m/min Schnittgeschwindigkeit (n 435 min^{-1}) gearbeitet. Hierbei wurden 111 °C an der Schneide gemessen. Bei einem dritten Versuch wurde bei 340 bis 560 m/min Schnittgeschwindigkeit (n 560 min^{-1}) gearbeitet. Hierbei stieg die Temperatur an der Diamantschneide auf 130 °C an. In den Drehmeißeln waren Schneidplatten aus polykristallinem Diamant mit rd. 8 mm Schneidenlänge eingesetzt. Polykristalliner Diamant war als Schneidstoff die einzig wirtschaftliche Alternative; versuchsweise eingesetzte Hartmetall-Schneiden stumpften bereits nach 20 mm Drehlänge unzulässig ab.

5 Drehen von Hartgummi

Auch zum Drehen von Hartgummi (90 Shore Härte) hat sich polykristalliner Diamant als Schneidstoff bewährt. So wurden Hartgummi-Walzen von 220 mm Dmr. und 2400 mm Länge mit polykristallinen Diamantschneiden von etwa 3 mm Länge und 1,2 mm Radius gedreht. Geschruppt wurde bei 450 min^{-1} und 0,4 mm je Umdrehung Vorschub, geschlichtet bei 100 min^{-1} und 0,2 mm je Umdrehung Vorschub.

6 Drehen von Hartmetall

Polykristalliner Diamant ermöglicht auch, hartes Metall zu bearbeiten, z.B. Wolfram-Kobalt-Legierungen mit Kobalt-Anteilen über 6%. Sonst werden diese Hartmetall-Legierungen mit Diamantscheiben geschliffen, elektrochemisch oder funkenerosiv bearbeitet. Diese Bearbeitungsmethoden haben als Feinbearbeitungen jedoch nur vergleichsweise kleine Abtragsraten bzw. benötigen entsprechend längere Bearbeitungszeiten.

So wurde eine Wolfram-Kobalt-Hartmetall-Legierung mit einer Härte von 1100 bis 1900 HV mit Schneiden von 12,7 mm Dmr. aus polykristallinem Diamant gedreht. Die Werkstücke hatten 50 mm Dmr., die Diamant-Schneiden mit 12,7 mm Dmr. hatten einen Neigungs- und Spanwinkel von -5° und wurden gekühlt (Emulsion 10%). Die Schnittgeschwindigkeit beim Drehen betrug 28 und wahlweise 57 m/min, der Vorschub entsprechend 0,25 und 0,55 mm je Umdrehung. Die Spantiefe war mit 0,5 mm konstant. Oberflächengüten wurden bei 28 m/min Schnittgeschwindigkeit als arithmetischer Mittenrauhwert R_a 0,94 μm und als Rauhtiefe R_z 4,4 μm erreicht und bei 57 m/min Schnittgeschwindigkeit R_a 0,64 μm und R_z 3,5 μm . Die Zerspanraten betrugen dabei 10000 bzw. 50000 mm^3/min und lagen vielfach höher als beim Schleifen in vergleichbarer Zeit sonst erreicht wurden.

7 Nutfräsen in Messing-Legierungen

In Messingband waren verschiedene Nuten einzufräsen. Hierzu wurden entsprechende Nutfräser mit Schneidplatten aus polykristallinem Diamant mit profilgeschliffener Schneide und einer Außenschräge unter 45° angewandt. Die Fräser hatten 7 bis 36 mm Dmr., gearbeitet wurde bei 18000 bis 25000 min^{-1} und Spantiefen von 0,16 bis 0,60 mm. Dabei wurden Oberflächen Rauheiten von $R_a < 0,6 \mu\text{m}$ erzielt. Verglichen mit der vorher üblichen Bearbeitung mit Hartmetall-Fräsern stieg die Standzeit im Verhältnis von 53:1.

8 Zusammenfassung

Ganz allgemein bieten Werkzeuge aus polykristallinem Diamant eine Anzahl spezifischer Eignungen. Sie ermöglichen dann höhere Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe und Spantiefen mit den daraus sich ergebenden kürzeren Fertigungszeiten als sonst übliche Schneidstoffe. Sie bedingen eine vergleichsweise niedrige Zerspankraft, so daß entweder Maschinen niedrigerer Antriebsleistung als seither eingesetzt werden können, oder die seither benutzten Maschinen ermöglichen eine höhere Produktivität. Die Standzeit polykristalliner Diamantwerkzeuge ist unter den genannten Bedingungen stets höher als die von konventionellen. Ein Ergebnis davon sind längere Intervalle zwischen zwei Werkzeugwechseln, so daß unproduktive Neben- bzw. Stillstandszeiten eingespart werden können.

Am Werkstück wird in geeigneten Einsatzfällen eine bessere Oberflächenqualität erreicht, als die sonst mit üblichen

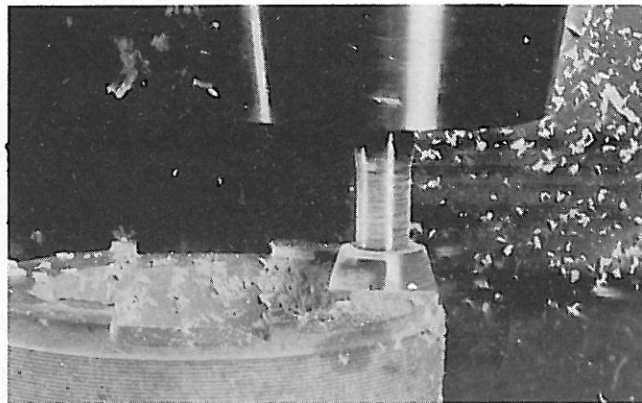


Bild 6. Fräsen eines Werkstücks aus glasfaserverstärktem Epoxidharz

Werkzeugen zu erzielen waren. Bei gleichen Toleranzforderungen ist so über größere Fertigungslose hinweg die Toleranz gesichert, so daß der Meß- und Kontrollaufwand gesenkt werden kann und sich ggf. auch weniger Ausschuß ergibt. Weitere qualitative Verbesserungen am Werkstück ergeben sich durch eine größere Ebenheit, kleinere Welligkeit und längere Gratfreiheit. Die Summe dieser spezifischen Eignungen polykristalliner Diamantschneiden rechtfertigt die höheren Kosten dieser Werkzeuge gegenüber solchen aus Hartmetall oder Schnellarbeitsstahl.

Literatur

- 1 Hobohm, G.: Drehen, Bohren und Fräsen mit polykristallinen Diamantwerkzeugen. Werkst. u. Betr. 119 (1986) 1, S. 119-121
- 2 Cullingworth, B. S.: Entwicklung und Einsatz von Diamant und CBN. Werkst. u. Betr. 118 (1985) 9, S. 635-638

Der Autor dieses Beitrags

Ing. (grad.) *Günter Hobohm*, geboren 1938, lernte Maschinen-schlosser und erlangte die Fachschulreife im Abendstudium. Nach seinem Studium an der Staatlichen Ingenieurschule Friedberg war er sechs Jahre Arbeitsvorbereiter. Nach vier Jahren im Außendienst ist er seit zwölf Jahren Verkaufsleiter und Prokurist der Jakob Lach GmbH & Co., Hanau.

Alle Werkbilder: Jakob Lach GmbH & Co. KG, Hanau

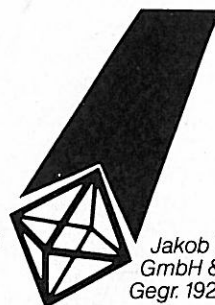
LACH-Diamant- und Bornitrid-Fertigungs-Programm aus dem neuen Werk Donaustraße in Hanau-Nord

Schleifen von Hartmetall	Diamant-Schleifscheiben in Kunststoff-, Metall-, Galvanik- und Keramik-Bindungen
Schleifen von Glas	Diamant-Schleifscheiben in Kunststoff- und Metall-Bindungen
Schleifen von Keramik (auch Aufschweißlegierungen)	Diamant-Schleifscheiben in Kunststoff- und Metall-Bindungen
Schleifen von HSS und gehärteten Stählen	Bornitrid-Schleifscheiben in Kunststoff-, Metall-, Galvanik- und Keramik-Bindungen
Drehen, Bohren, Fräsen, Reiben von NE-Metallen und Kunststoffen	Natur- und polykristallines Diamant-Werkzeugprogramm dreborid-D
Drehen und Fräsen von gehärteten Stählen über 55 HRC, Guß, HSS und aufgespritzten Metallpulvern	polykristallines Bornitrid-Werkzeugprogramm dreborid-B
Abrichten von Schleifscheiben	Einzel-Abricht-Diamanten und Service geschliffene Profil- und Kopier-Diamanten und Service Vielkorn-Abrichter und Aggregate Diamant-Abrichtplatten Rohdiamanten aus eigenen Importen Diamant-Abrichtrollen
Feilen und Entgraten von gehärteten Stählen und Kunststoffen	Diamant-Feilen und Diamant-Entgratungs-Werkzeuge mit galvanischer Bindung Diamant-Fräser mit polykristallinen Diamanten dreborid-D
Läppen und Polieren	Diamant-Pasten MF Diamant-Spray MF Diamant-Korn aus Natur und Synthese
Service-Leistungen	Instandsetzung von Einzel-Diamanten und geschliffenen Profil- und Kopier-Diamanten Nachschleifen von Werkzeugen mit polykristallinem Diamant und Bornitrid Nachbelegen galvanisch gebundener Diamant-Werkzeuge Nachschleifen von Diamant- und Bornitrid-Schleifscheiben Diamant-Abrichtrollen-Service

LACH DIAMANT

UND CBN-WERKZEUGFABRIK

Donaustraße 17-19 · D-6450 Hanau 1
Telefon (06181) 10301 · Telex 4184836



Jakob Lach
GmbH & Co. KG
Gegr. 1922

Vertrieb in den USA:

LACH DIAMOND

4350 Airwest Drive, S.E.
Grand Rapids MI 49508
Telephone (616) 698-0101



TOOL CORP.

High Precision Diamond
and CBN Tools for the
Metalworking Industry